

# 第3回ロボフレ委員会講演内容

## ～ロボフレの基礎・基盤としてのIE(Industrial Engineering)～

講演：松本俊之（青山学院大学 教授）

記録：林駿祐（青山学院大学 学部生）

更新：佐藤知正（東京大学 名誉教授）

概要 (Abstract)：本稿では、ロボットフレンドリー（以下、ロボフレと略記）概念の普及を念頭に、ロボフレを『ロボットに優しい、ひいては、さまざまなシステムへのロボット導入を容易にする考え方』としてとらえ、ロボフレのよりどころ、基礎・基盤、あるいはロボフレ理論としての Industrial Engineering（以下 IE と略記）を提示している。

具体的には、『IE がロボフレの基礎・基盤である』という本稿の論拠を、次のような論理展開で論述している。1)ものづくり活動のサブセットがロボットシステムづくり活動であり、さらにそのサブセットがロボフレシステムづくり活動である。2)ものづくり活動においては、改善がその質の向上をもたらすコアの考え方であり、そのよりどころ、基礎・基盤・手法をIEが提供する。3)以上1)、2)の帰結として、IE がロボフレ改善の基礎・基盤を提供する。この帰結を踏まえ本稿では、ロボフレの基礎・基盤としてのIEを、a)ものづくり改善のIE説明(=ものづくり改善のよりどころをIEが与えることの説明)、b)ロボフレ改善のIE支援(=ロボフレ改善の基礎としてのIEの紹介)、その応用系として、c)ロボットシステムインテグレーションにおけるIE援用、およびd)IEから学べるロボフレの展開をこの順序で説明している。

### 1. はじめに

**(きめこまかさと日本)** きめこまかなものづくりは、数多くの多様な改善の集積なしには実現しえない。ものづくりにおける改善は、価値の付加や増大や生産性の向上のための創意工夫であり、最終的には、手法や機構として現実のものとなる。改善とその集積は、日本人の特性が遺憾なく発揮される活動であり、日本人が得意とするところである。日本人が構築した改善の集積体としての工場は、世界に冠たる評価を得ていることがその例証である。

**(改善のよりどころとしてのIE)** その一方で、Industrial Engineering（以下、IE と略記）[1]は、改善のよりどころとして、改善活動の基礎・基盤としての考え方や手法を体系的に提供する。

**(ロボットシステムづくりと改善)** ロボットシステムづくりは、ものづくりのサブパートと位置づけられる。それ故に、きめこまかなものづくりと同様、きめこまかなロボットシステムづくりも、日本人の得意とするところである。これまでも、ラインビルダーやロボットシステムインテグレータ（以下 SIER と略記）によって、成果をあげている。日本のロボット使いこなし産業の今後の展開を考えると、ますます強化すべき分野である。

このロボットシステムづくりにおいては、ロボットに優しい改善、ひいてはロボットの普及を容易にする改善を実施するが肝要であり、経産省が提唱しているロボットフレンドリー（以降、ロボフレと略記する）の考え方がそのバックボーン概念として重要な役割を果たす。

**(本稿の趣旨と構成)** そこで本稿では、ロボフレ基礎・基盤としてのIEについて論述する。具体的には、まず、改善や改善集積事例を紹介し【第2章】、その改善やその集積の明示的な方法論としてのIEの考え方[2]やIE手法を、その基礎・基盤を与える観点から述べる【第3章】。その上で、ロボットフレンドリーなシステム(ロボフレシステム)の構築は、ロボットシステムづくりのサブセットであり、ロボットシステムづくりは、ものづくりのサブセットであること(\*1)と、ものづくりにおいて改善は、その価値創出・向上や生産性向上に有効な活動であること(\*2)、などを統合して考えると、ロボフレシステムを実現する上で、改善活動が有効であることをのべる【第4章】。この帰結として、ロボフレシステムを実現する基礎・基盤としてのIEを、具合例を含めて紹介する【第5章】、さらに、本稿ではIEの応用側面に関して、2項目に分けて述べる。第一の応用例は、改善の集積体として実現されるきめこまかなロボットシステムの構築を、IE手法で支援する応用例である。この「ロボットシステム構築支援システム」紹介するとともに、そこでは様々なIE手法がSIER支援として有効に活用できることを示す【第6章】。第二の応用例は、IEのコアをなす改善マネジメントの極意などの考え方がロボフレの展開へ応用できることを述べる【第7章】。第8章は結論である。

なお、本稿の全体像を理解してもらうために、目次を本稿の最後の付録に記載する。

## 2. ものづくりと IE の関係

～ものづくり改善事例とその IE による説明～

本章では、ものづくり工場における改善の具体的な事例を、その効果（ものづくり改善効果）とともに紹介し、それが IE の考え方や手法で説明すると、その意義やよりどころが理解しやすくなることを説明する。

### 2-1 容器供給作業の自動化改善事例とその IE による説明

**（作業概要）** とりあげる作業は、「ランダムに入っている多数のプラスチック容器」を、ターンテーブル上に並べることにより「同じ向きで機械に供給できるようにする」作業である。

この作業内容は次のように分解される。プラスチック容器を、1)一つずつ取り出す作業、2)一列に並べる作業、3)立てる作業、4)容器の上下を揃える作業。

この手作業を、そのままロボットシステムで実現する場合は、プラスチック容器の視覚システムによるランダムピッキングと、整列させるプレースで実現することができる。しかしながら、かかる費用は少なく見積もっても、ビジョンシステム 200 万円、多軸ロボット 200 万円、インテグレーションなど、合計 1,000 万円くらいになる。

その一方で、この手作業を分析し、簡単な“からくり”や“機構”で実現する改善を繰り返すと、次のように実現される。1)の容器の取り出しの部分は、シリンダーを使って、段ボール箱をゆりかごのように揺らす機構で実現。2)の方向を揃える作業は、容器の搬送路の途中に障害物のデルリンとアングルの端材を置くことで傾斜に流す機構として実現。3)の立てる作業は、自重を使って落とす機構として簡単に実現。ただしここで、逆向きで落ちてくる容器に対しては工夫がある。そこで、4)の容器の上下を揃える作業は、容器の向きをレーザーで判定し、逆向きの場合は、上下を反転させる。具体的には、経路出口につけた曲げた針金で、容器の上下を反転させる機構とし、正しい向きの容器が出て来る場合は、容器の底部に針金が当たるのみであるが、逆向きと判定された容器が出て来る場合は、針金が容器の上部の首部分をひっかけることで向きが変わる機構として実現する。以上のメカニズムの制作費用は、20 万円であった。この方式に基づいたアルミとアクリル板を用いた試作機は、製造工程に導入された。

以上のプロセスに含まれている改善活動や改善効果を、IE の考え方や手法で説明すると以下のようになる。

**（ものこと分析）** IE の手法に「ものこと分析」[3]がある。これは、自動化（オートメーション）の実

現を、明示的な分析にもとづいて実現していくやり方（手法）である。作業対象物である「もの」の状態変化に着目することにより、対象作業（仕事）をその構造の変化として表現し、この仕事の構造図をよりどころにして、シンプルな自動化および設備設計を可能にする手法である。この手法はデザインアプローチ（つくる人のみではなく、使う人の目線に立って観察や実験を重ね、専門家を含むさまざまな人を含んだ関係者が共創することで解決に取り組む手法）も可能にする効果的な自動化手法である。

（検討の初期段階）前節で述べた容器供給作業（図 1 にその流れと手作業の状況を示す）の自動化を可能にした改善事例を、以下に詳細に説明する。

この事例の初期段階では、前述したように、作業に最新のロボットを使用した自動化案が検討されずに見積もっても、1,000 万円くらいのロボットシステムが考案された。この 1,000 万円は作業者の費用 400 万/年で考えると、投資回収期間が 2.5 年となり経営的に投資するか迷うものである。さらに検討すると、初期予算を超える可能性、つまり対象製品が変更された場合の設備や設定変更費、自社によりメンテナンスができないことによるメンテナンスの外注費の発生という問題点も指摘された。

**（ものこと分析の段階）** そこで、より現実的な改善、具体的には IE 手法であるものこと分析を適用して改善を試みることにした。ものこと分析では、対象作業を仕事の構造図を用いて分析する。つまり、始めの「もの」、終わりの「もの」、手段の「もの」に注目し、その変化「こと」をシンプルな言葉で表現する。この分析と表現によって、仕事の構造把握をする。この構造把握が「こと」にある要の変化＝付加価値を生む変化抽出を可能にする。以下に具体的に説明する。

ものこと分析によりもとの手作業は、次のように分析・記述された（図 1 は、それを図示したものである。図示することにより、この作業対象である容器の状態の変化が、1) 始めの「もの」とその状態（材料＝複数のプラスチック容器がダンボールの中に入っている）、2) 終わりの「もの」とその状態（製品＝容器がターンテーブル上に立っている）、そして、3) 両者のマテリアルバランス（始めの「もの」や終わりの「もの」を考える時、これらのものは消えることはないので、その処理なども考えること）を取ると空段ボールとターンテーブルが抽出できる。ここでは、手段の「もの」は作業者の手と机になる。さらにここでは、作業の最初と最終の状態が、「もの」の空間的状态の変化として記述されているのが特長である。このような状態の把握のしかたを、本稿では、構造的把握と称している。さらにまた、変化の「こと」は「8 個ずつの容器が取り出されて、

運ばれて、揃えられて、立てられる」という「こと」を20回繰り返すのである。

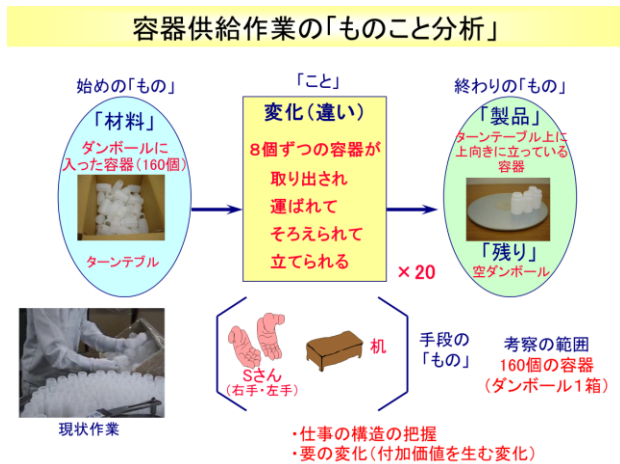


図1 現状作業のものこと分析

(ものこと分析による改善の実施段階) この構造的把握を拠りどころとして、手作業を自動化するための改善を考える(図2にその考案の内容を示す)。はじめの状態は「乱雑に容器が入っている」、終わりの状態は「同じ向きで機械に供給したい」である。その間に変化の「こと」を起こすことを考える。現状作業の変化の「こと」は取り出して、運んで、揃えて、立てるとなる。「もの」に即して、その状態変化、つまり構造変化に着目すると、箱から取り出す、並べる、立てる、上下を揃える、というような4つの変化が抽出できる。実際に現場では、4つの変化に関して、それぞれに治具や機構(からくり)を考案した。そして、それら考案した治具やからくりが、段ボールで作ったプロトタイプとして以下のように実現された。一番簡単なのが立てるというところで、2番目が並べる、3番目が箱から取り出す、4番目の上下揃えるが意外と難しい。このことを考慮しながらプロトタイプの治具を次のように作成した。まず1つ目の取り出す部分は、シリンダーを使ってゆりかごのように揺らす機構とした。2つ目の1列にする部分は、途中に障害物のエンブラの一種であるデルリンとアングルの端材を置いた傾斜に流す機構とした。3つ目の立てる部分は、自重を使って落とす機構としたので一番簡単である。ここで、逆向きで落ちてくる容器を何とかしなくてはならないので、レーザーで正誤判定をして、そして逆だったら何か機械的に上下を揃える案などを考えた。4番目の上下揃える部分は、出口につけた曲げた針金で反転させる機構とした。これで、正しい向きの容器が出て来ると底部に針金がチョンと当たるが、逆向きの容器が出て来ると針金が容器の上部の首部分をひっかけて向きが変わる。一番難しいと

ころを一番シンプルな形で簡単な形で実現している。

最終的には、図面を作成してアルミと亚克力板を用いて製作して工程に導入した。この製作費は約20万円であり、冒頭のロボットによる自動化の1,000万円よりかなり安価である。また、これを担当した技術者への教育効果もあった。

(ステップワイズマイクロオートメーションとしての説明) このように、作業1要素ごとに分割し要素ごとに簡単な機能の作りの治具やからくりを作成していくという考え方は、ステップワイズ・マイクロオートメーション[2]と呼ばれている(図3)。



図2 治具と設備の考案



図3 ステップワイズ・マイクロオートメーション

現状作業にもものこと分析を適用して、この変化の「こと」を抽出して、できる部分からやる、ものの動きに注目して単機能ごとに自動化する、その時に手でやる→動きにする→道具にする→設備を導入する→安全にする、という5つのステップを大切にするという考え方である。このエッセンスは、簡易材料で作ること、知恵を使うこと、シンプルな設計

をすること、安い自動化ということ、何よりも自作することにある。ステップワイズとはステップを踏んだという意味であり、特に難しく考えないでできることからやる、道具→設備自動化のステップを踏むことがポイントとなる。

## 2-2 薬の瓶詰作業の改善事例とその IE による説明

**(作業概要)** ステップを踏んだ自動化の事例をもう 1 つ紹介する (図 4 参照)。ここで紹介する薬瓶詰め作業というのは、IE における昔からの教材として存在しているものである。現状作業では、空瓶が 12 瓶あり、それぞれ 1 つの瓶に 16 粒入れて、完成品箱に入れるという作業である (作業時間: 140 秒)。

**(道具の工夫による改善)** この作業の作業者を後ろから見るとずっと動いているので無駄がないように思われる。しかし、動作レベルで左右の手に注目すると右手が動いている時には左手が止まっている、左手が動いている時には右手が止まっている、または交互に仕事をしている、あるいは交互に休んでいるとも見える。このように人の動作に着目すると無駄が見えてくる。この複雑な作業を一気に複雑なまま自動化するのではなく、IE ではまず道具を作る改善を推奨している。この作業の本質は、薬箱から 16 粒取り出しそれを入れるということである。そこで、第 1 次改善案として 16 粒取り出して瓶に簡単に入れる道具を作成した。作業時間は 140 秒から 80 秒に改善されている。ただ、この道具をもっと改善が可能である。この穴に入れるのは取り出さないといけないので、16 粒を取り出すより良い道具を考えることもできる。

て、設備下のハンドル面に穴をあけており、これを引くと薬が 16 粒ずつ落下して 6 瓶に入れられる機構になっている。これで作業時間は 60 秒に改善できる。第 1 次改善案では 1 瓶ずつ処理していたので、この運搬が気にならないが、6 瓶まとめて処理すると大きな無駄として見えてくる。

**(工程変更による改善)** 第 3 次改善案として、ものの動きに着目したさらにシンプルな設備化を考える。上部に薬を入れるホッパーがあり、上下のストッパー、その間に 16 粒を切り出すためのパイプが 12 本用意されている。この下部に 12 瓶を入れて、上下のストッパーを操作して一気に 16 粒を 12 瓶に入れることができる。下部に空瓶を 12 瓶用意するのは、第 2 次改善案の 6 瓶から 2 倍になっているので、瓶の運搬の無駄がさらに強調されている。この瓶の運搬の無駄に対しては荷姿を変更して、前工程から箱に入った形で運搬され、薬を入れて、そして後工程にそのまま運搬することにする。これで作業時間は 7 秒に改善できる。

**(自動化改善)** このようにものの動きがシンプルになると自動化の構想案ができる。まず、コンベア上をプッシャーで押して空の 12 瓶入りの箱が流れてくる。これがセンサーの部分のスイッチを押して、プッシャーで上下のストッパーが動き、薬が入れられ、薬入り 12 瓶入りの箱が流れいく機構になっている。これで材料投入以外は、人による作業時間はゼロになる。

**(IE 手法による説明)** 以上紹介した改善活動をまとめると、現状作業の『本質的に価値を生む部分は、「分ける」と「入れる」にある。これを複雑なまま一気に自動化するのではなく、ここまで手順にわけて詳細にしてきた改善は、“この本質的な価値を実現するように、まずは簡単な道具を作る。そして、設備を作り、さらにシンプルな設備を追求する。シンプルな設備およびものの動きが最小になったら設備の自動化する”と抽象化される。この考え方は、簡単にしてから自動化、そして改善は永遠になるという IE の考え方』である。このように説明され、把握すると、そのよりどころが明確に理解できるようになり、別の事例にも応用できるようになる。

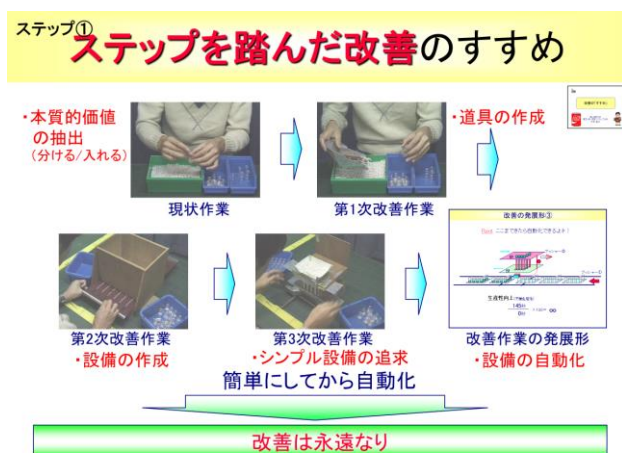


図4 ステップを踏んだ自動化

**(設備の工夫による改善とその効果)** 第 2 次改善案として量産を考えて、まとめて処理するための設備化を考える。これは第 1 次改善案の道具を延長した形で設備を考えることができる。6 瓶まとめて処理し

## 3. ものづくりにおける IE

～ものづくり改善理論としての IE～

IE は、ものづくりにおける改善に関して、その基礎理論を提供する。以下に、ベースとなる考え方と手法を、さらにいくつかの IE の手法を適用した教科書的な追加事例を含めて紹介する。

### 3-1 IE と改善そして改善マインド

**(IE とは?)** IE とは、1900 年頃のアメリカで生ま

れた経営管理に関する学問である。著者は、IE にもとづく活動とは、人・もの・お金・情報を含むシステムにおける仕事の生産性を向上させる改善活動および問題解決活動であり、人が改善マインドを身につけることによって育つ活動であると考えている(図5)。別な表現をすると、IE 活動とは、制約条件の排除あるいは現状を打破する活動であるとも言える。

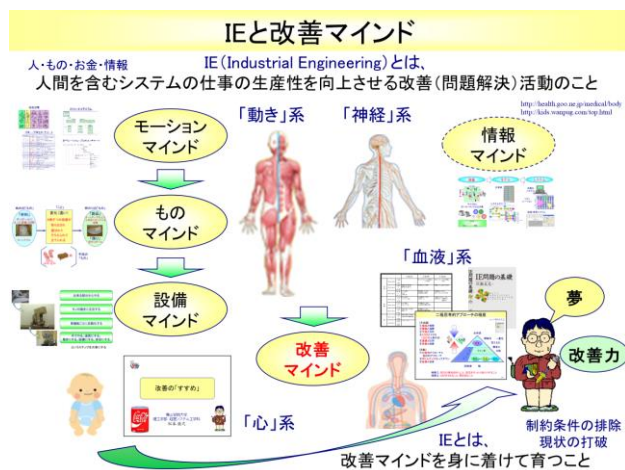


図5 IE と改善マインド

(IE における改善マインドとは?) IE で改善活動を推進する時に、身につけるべきマインドセットに改善マインドがある。改善マインドは、4つのマインドからなる。人間の身体になぞらえると、動き系に関連して、モーションマインド、ものマインド、設備マインドがあり、神経系に対応して、情報マインドがある。モーションマインドでは人の動きに注目し、ものマインドでは人を消してもものの動きに注目し、設備マインドでは物の変化および価値を生んでいるところに知恵を使って設備し、効果的な改善活動を推進することを勧める。情報マインドでは生産管理を含む情報システムに関してデータの流れという観点で注目する。何も改善を知らない人が後述する改善のすすめを学んで、最終的にこれらの改善マインドを身につけ IE を活用した改善活動様式を習得することを期待している。

### 3-2 IE 手法を適用した工程改善事例

本節では、工場での改善事例を追加説明する。これは第2章の改善事例が、教科書的なものであったのに対し、実際の企業で実施された事例である。

(カメラ分解工程の事例) 実際に IE 手法を適用して工程改善した例である(図6)。中小企業であるリサイクル企業において、リサイクルカメラの分解工程を対象として、下記 a)から d)の IE 分析を適用して工程改善を実施した。従来は 48 個入りのトレー

を使用したバッチ処理であり、作業時間は 90 秒/個であった。そこで、1年後の損益が黒字となる 60 秒/個を目標とし、a)工程分析(流れを見る)、b)マン・マシン分析(マシンタイムのムダ)、c)ラインバランシング(どこを改善するか、順序入れ替え)、d)独自の治具開発などを実施し(治具)、「1個流し」を基本にして改善した。その結果、作業時間が 48 秒/個となり、生産性が 1.9 倍に向上、スペースも 1/3 に削減できた。この詳細が知りたい人は、図6に記されている文献を参照されたい。

(現像機製造工程の改善事例) 現像機製造企業において、熟練技能者以外の人でも工程を治具化・設備化することを可能にしたいと考え、a)もの・こと分析と b)ステップワイズ・マイクロオートメーション手法をもとにして、“もの・ことオートメーション手法”を考案した[4]。その特徴は、治具完成までを細かく段階に分け、改善に対する意識とスキルの向上を図ることができる点にある。実際のヒーター加工工程を対象にして、まず改善方針を決定し、次に、考案した改善手法を適用し、工程設計を実施した。改善の効果として、人の動きに関しては、移動距離を 2,581cm/個から 923cm/個に削減できた。作業時間に関しては、2,171 秒/個から 1,049 秒/個に削減し、生産性は 2.1 倍に向上した。詳しく知りたい読者は、上記文献を参照されたい。

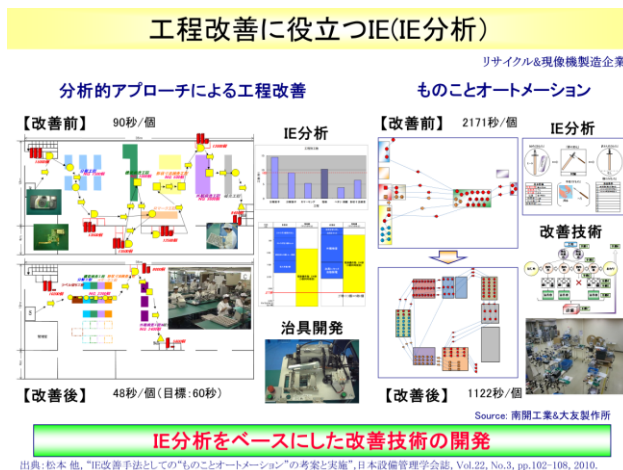


図6 IE 手法を適用した工程改善

### 3-3 IE に関連する研究教育

当研究室では IE をベースにして、ものづくりのための改善技術と教育システムの開発に関する研究を進めており、大きく4つの柱がある[5]。

(改善技術の研究) 1つ目として主には実際の生産企業、特に中小企業で活きた問題を取り扱って生産性向上のための改善技術を開発する研究である。例えば、技能訓練システムとして技能の抽出やそれをシステム化して伝承する仕組みを開発している。他

にも目視検査システムの研究もある。

**(農業分野への IE 適用)** 2 つ目として農業に IE を適用するという構想の下、スマートウォッチを身につけて農作業を実施すると自動的に作業データが記録できるシステムの開発を目指している。

**(人材育成ツールの研究開発)** 3 つ目として教育分野では、経営工学教育を中心としたゲームを開発している。例えばグローバル生産の基本的要素の理解という視点でボードゲームやコンピュータゲームを開発している。(人材育成活動) 4 つ目として環境教育に関して、ゴミ分別ゲームを開発し、いくつかの小学校で出張授業を実施したこともある。

**(IE に関する講義・演習)** 著者が大学で担当する講義の IE 技術(学部 2 年生対象)では、改善マインドに含まれる考え方と手法をもとに、改善のための発想に重点をおいた工程設計、仕事の方法分析や時間測定の基礎知識に関して学習し、改善力を身につけることを目的としている。歴史と事例、流れ研究、動作研究、時間研究、まとめの 5 部構成で、演習問題を中心に講義している。

上記の自動化の事例のベースには IE があり、IE が自動化に役に立つことが示され、改善の事例のベースに IE があることが示されている。

#### 4. ロボフレと IE の関係 ～ロボフレ改善の IE による実現～

##### 4-1 ロボフレとロボフレ委員会

**(経産省のロボフレ)** ロボフレは、経産省が提唱している概念である。ロボットを真に普及させるためには、単にロボットをよくするだけでは不十分であり、ロボットが利用される環境もよくすることが大事であるという考え方である。この考えに基づき、ロボットに優しい環境の構築を目指して、食品分野や倉庫物流分野、施設などの分野で、ロボフレの研究開発がなされている。

**(ロボフレ委員会)** この考え方を環境だけに留めるのではなくロボットや人間も加えた 3 つの軸(環境軸、システム軸、人間軸)に拡張すべく、2023 年に RRI の WG3 の中に、ロボフレ委員会を設立した。この委員会では、これまでに構築された様々なロボットシステムに関して、上述の 3 軸で分析する活動(以下では、ロボフレ分析と呼ぶ)が推進されている。ロボフレ分析を通じて、ロボットフレンドリーなロボットシステムの構造的把握とともに、それを可能としている基礎・基盤として IE を位置づけ、さらにロボフレを日本のロボットシステムづくりの世界ブランドとして発信・宣伝することを目指している。

#### 4-2 ロボフレツリーとロボフレツリー雛形テンプレート

**(ロボフレツリー)** ロボフレ分析の結果は、後述するように、3 軸の 3 階層ツリーとして記述される(本稿では、このツリーを、ロボフレツリーと略記する)。

**(ロボフレツリーの 3 軸)** ロボフレツリーでは、ロボフレシステムを、そのシステムが利用しているロボットのみならず、それを取り巻く環境、ならびに人間(ロボットシステムを構築する人間、ロボットシステムを使いこなす人間)の観点から分析し、記述対象とする。これら 3 要素(ロボット、環境、人間)に着目する理由は、この 3 要素を考慮することにより、ロボットの特徴が明示的に分析・理解・把握されるからである。例えば、産業用ロボットの場合には、ロボット(ロボット軸)とそのロボットが扱う部品(環境軸)との関係が重要な考慮対象となるので、これに関連した特徴的な記述がロボフレツリーの記述に多出することになる。例えば、産業用ロボットでは、ロボットが部品をどのように認識しハンドリングするのかのセンサーやハンドなどが、重要課題となる。その一方で、サービスロボットの場合では、ロボットと人間の関係性、例えばロボットが提供するサービスが人にとって許容できるものであるか否かが重要課題となる。このような境界領域もふくめて 3 軸で分析すれば、ロボットの特徴をとらえた分析となり、その理解を深めることになる。

**(3 軸は、実は 6 つの要素)** さらに情報技術が発展しサイバー世界が豊かになった昨今においては、上記の 3 つの要素に関して、フィジカルの世界での環境・ロボット・人を考えるのみでは不十分で、さらサイバーの世界(デジタルツイン)でのロボット、環境、人間も考慮の対象とすることが必須となっている。つまり、ロボフレツリーでは、ロボットシステムを、結果的に 3 軸の 6 つの要素で分析、表現する。

**(ロボフレツリーの 3 階層)** ロボフレツリーにおいては、次のような階層的な分析・記述手法を採用している。トップの階層(第 0 階層)は、ロボットフレンドリーである。その直下の階層、第 1 階層においては、“Why” 関連ということで、なぜそのロボットシステムを構築するのかということに注目し、課題や効果を分析の対象とする。その次の第 2 階層では、“How” に注目する。つまり、前述の課題をどうやって解決するのかという視点であり、手法として分析をすすめる。さらに最後の第 3 階層においては、“What” として、何を具体的にどういうモノやサービスを作るのかに注目して分析をすすめる。ロボフレ委員会では、このやり方を、ロボフレ分析と称して、ロボットシステムを分析・記述するべ

スとして採用している。したがって前節の3軸の分析とあいまって、ロボフレ分析結果は、3軸×3階層のツリー（3軸3段階ツリーとして表現される）。

（ロボフレツリー雛形テンプレート）上記の考察を踏まえ、ロボフレ分析ツリーの雛形を、ロボフレ分析のために標準テンプレートとして作成した（図7）。一番左（最上階層、第0階層）にロボットフレンドリーという概念がある。その右横（一段下の階層、第1階層）に3つの軸、つまり環境の軸、ロボットの軸、そして人間の軸の3つの軸がロボットフレンドリーにつながる形で接続配置されている。

そしてこの第一階層には、環境、ロボット、人間の3つの軸に関連したWhyに相当する課題や効果を、キーワードとして記載する。さらに、それぞれの右横、つまり第2階層には、その課題や効果をどのように実現するのかのHowに相当するキーワードを記載する。例えば、環境の軸の第1階層の「社会受容性のある環境」には、それにつながる第2階層としては、下から、装置との連携、設備との連携、さらに施設との連携の3つの項目が記載される。さらに、その下の第3階層においては、Whatに相当するキーワードが記載する。具体例で説明すると次のようになる。例えば第2階層の「設備との連携」の右横の第3階層には、エレベータ連携というキーワードが記載される。これの意味するところは、第1階層の「社会受容性のある環境」というwhyに対して、第2階層のHowとして「設備との連携」が方法論として記述され、さらにその具体化としてその右横に「エレベータ連携」というwhatが記述されるという具合である。このように、分析ツリーは3軸×3階層の構成になっている。3軸については環境、ロボットそれから人間という軸が存在し、列についてはWhyとHowとWhatに相当しているテンプレートキーワードが記述される。このWhy, How, Whatという考え方は、ゴールデンサークルと呼ばれているもので、この3段（3つの列）で整理すると物事が直感的に整理される。この理由で、ロボフレの分析ツリーの雛形でも採用した。

#### 4-3 ロボフレと改善

（ものづくりとロボットシステムおよびロボフレシステムづくりの活動）さまざまなものやシステムをつくる活動と、その活動における改善およびそれを可能にする理論の関係性を図8に示す。本稿では、つくる活動としては、“ものづくり”、“ロボットシステムづくり”、そしてロボットフレンドリーなシステムづくり（“ロボフレシステムづくり”）を扱っている。前者の活動が後者の活動を包含する関係にある。というのは、“ものづくり”のうち、ロボットを含んだものづくりが“ロボットシステムづくり”

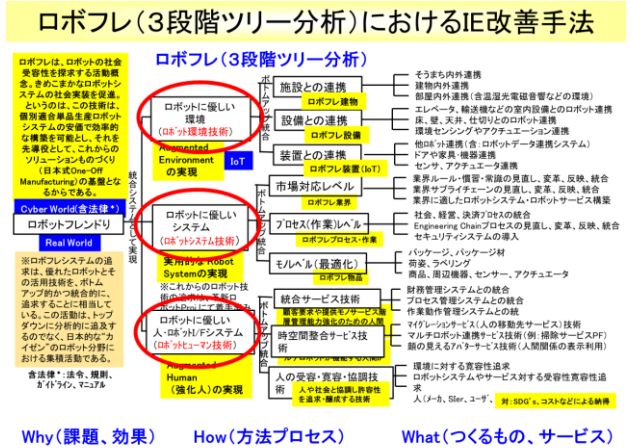


図7 ロボフレ3段階ツリー分析のひな形

くり”であり、ものづくりコロロボットシステムづくりと定式化される。同様に、“ロボットシステムづくり”のうち、ロボットに優しいロボットシステムを構築するのが“ロボフレシステムづくり”なので、ロボットシステムづくりコロロボフレシステムづくりの包含関係式が成り立つ。

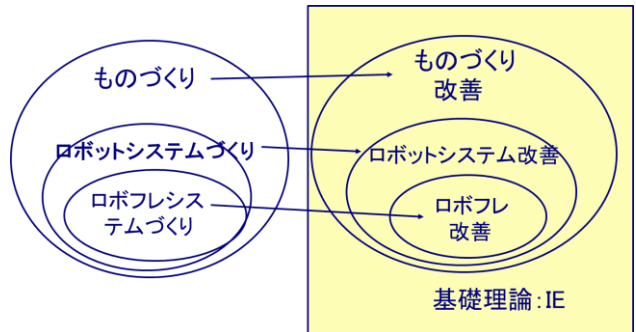


図8 活動とそこにおける改善・基礎理論の関係

（ものづくり改善とロボットシステム改善およびロボフレ改善）このような包含関係は、それぞれの活動によって実現される改善についても成立している。つまり、ものづくりの時に実現される“ものづくり改善”が“ロボットシステム改善”を包含し、同様に“ロボットシステム改善”はロボットフレンドリーシステム改善（＝“ロボフレ改善”）を包含する。つまり

ものづくり改善コロロボットシステムづくり改善コロロボフレシステムづくりとなる。そして改善は、ものづくりの中で実施される活動であるから、その理論としてのIEは、ものづくり改善より広い範囲をカバーする。以上の議論から、『“ロボフレ改善”は、“ものづくり改善”のサブセットであり、“ロボフレ改善”の基礎をIE

が提供する』ことが結論づけられる。逆に言うと、IEはロボフレ改善の理論となりうるのである。別の言い方をすると、『改善の基礎・基盤をIEが提供する』ように、ロボフレ改善の基礎・基盤も、IEが提供する』ことになる。このように、ロボフレの基礎・基盤をIEに求めることが可能となる。

**(ロボフレの3軸と改善マインドの類似性)** 前述した結論は、改善マインドの考え方やロボフレの3軸の扱いの類似性という形でも見て取れる。具体的に説明すると次のようになる。前述したとおり、IEにおける改善マインドにおいては、モーションマインド、ものマインド、さらに設備マインドがとりあげられている。それらはロボフレでいうと、環境、システム、人間の3つの軸に対応している。

IEでいうモーションマインドはまさしく、優しい人間に相当している。ものマインドはロボットに優しい環境に相当しており、設備マインドはロボットに優しいシステムに対応している。この三つ巴を六つ巴に拡大するのが情報マインドである。改善マインドにおいても、この六つ巴が議論されており、ロボフレにおいても六つ巴が議論される。このことは、改善のベースに位置づけられたIEの考え方である改善マインドが、ロボフレ改善と同じ適用範囲を有していることを意味している。このお互いのベースに、IEが活用できるということを示すのが、ロボフレ委員会の趣旨である。

**(ロボフレの3軸と改善マインドの類似関係)** 両者の関係をもう少し具体的に説明する。ものマインドは部品とか環境に関連するマインドなので、ロボフレでいう環境軸に関連したものである。設備マインドというのは、システムにおける中心の働き手という意味で、まさにロボット軸そのものである。さらにモーションマインドは、人間の動作を分析して改善する、無駄をなくすことにつながっているという意味で、ロボフレの人間軸に対応している。このように、改善とロボフレは、非常に似た等価性を有しており、改善マインドを介して得られるロボフレ分析ツリーのキーワードは、改善であるとともにロボフレを実現する要素でもある。

**(ロボフレ改善の基礎をIEに求める効果)** 自動化は、ロボットシステムづくり改善においての大切な目標である。したがって、自動化の基礎的な実現手法としてIEが役立つ。改善の風土が、日本のものづくりの強さを実現した。そういう意味でロボットに優しい自動化を目指した改善は、IEがそのベースにあるのだから、ロボフレの風土となる可能性がある。このことは、次のような効果をもたらす。ロボフレの成果として、ロボットの活動範囲を広げるエレベータ連携が取り上げられているが、これも、エレベータとロボットが連携さえすればロボフレになる

のではなく、ロボットの作業工程まで含めてきまかに考えるIEの風土も取り込んだ活動となると、連携がより非常に生きてくる。このように全体を統合的に考えることが大切である。これは、風土にまで熟成されたIEの考え方や手法が、ロボフレをより効果的にするうえで、役に立つ具体的事例になるだろう。このように、IEをロボフレ基盤として援用することは、ロボフレを深く基盤から考え直してみる機会としても重要である。

**(改善のサブセットとロボフレ改善のさらなる効果)** 改善のサブセットとロボフレ改善の等価性は、次の予想を可能とする。つまり、日本人が得意とする改善というものが、日本人が得意とするロボフレに変化していく。そのベースに風土にまでなったIEの考え方があることで、ロボフレにも体系だった理論が提供されるとともに、風土としてのロボフレ改善が育つ。この際には、改善を推進する人材育成がポイントとなる。改善とロボフレと人材育成とは距離があると思われるかもしれないが、日本で改善の集積が成功した理由として、改善が工場の風土になったことは前述したが、そこには絶え間ない人材育成があった。この意味でロボフレ同じと道筋をたどると考えている。ロボフレを日本のお家芸とし、日本ブランドとして昇華させるためには、人材育成も大切である。

#### 4-4 ロボフレ改善とIE手法

～ロボフレキーワードとIE手法～

**(ロボフレキーワード)** ロボフレツリーのひながたテンプレートに記載されたキーワードは、これまで著者が接してきた様々なロボットシステムを分析して、共通的なキーワードとして採用したものである。一つのキーワードに結合されるより下位レベルの3つのキーワードは、例えば、第2階層の「社会受容性のある環境」につながるキーワードとしては、下の方から「装置」という狭いレベル、「設備」という中レベル、さらにその上に「施設や街」といった大きなレベルの順で選択し配置した。第2階層の「社会受容性のあるロボット」に結合されている第3階層のキーワードとしては、「物」のレベルを最下位とし、その上に「プロセス(作業)」のレベル、さらにその上に「市場」まで含めたレベルを配置した。同様に第2階層の「社会受容性のある人間」に結合する3つのキーワードについては、「個人の受容性」が一番狭いレベルとして記載し、その上に、「個別サービスの受容性」が、さらにその上に「統合したサービスの受容性」を記載した。

**(ロボフレキーワードと自動化)** ここでは、改善と自動化、そして自動化とロボフレの関係を考えてみる。ものづくりにおける自動化というのは、作業に

おける改善の結果考案された道具、からくり、装置の電動化、さらにロボット化により実現される。自動化は、改善のひとつの姿である（自動化⇔改善）。また自動化は、道具、からくり、装置の電動化が結果的にロボットの活用を促進する観点からロボフレをもたらす。そして、最後のロボット化は直接的にロボフレをもたらす。このことは、ロボフレは、自動化の一つの姿であることを意味している（ロボフレ改善⇔自動化）。包含関係でいうと、

ロボフレ改善⇔自動化⇔改善

となる。これは、改善についても、自動化についても、ロボフレ改善についても、前節の 4-3 でも説明したように、それらのベースとして IE が活用できていることを意味している。ロボフレ改善を自動化のサブセット、さらにロボフレ改善をものづくり改善のサブセットとして考えられるという“とらえ方”は、ロボフレ概念が、単に“ロボットに優しい”という意義のみでなく、自動化という改善やものづくり改善もとりこんだ概念であるという、ロボフレ概念の拡張を意味している。これは、広義のロボフレである。そう考えると、ロボフレの目標としては、単にロボットに優しいというよりは、むしろ自動化を可能とするものでもあり、ものづくり改善をも可能とするものであるとも位置づけられる。このことを明示的に表現する目的で、ロボフレツリーの第 1 階層の「環境」、「ロボット」、「人間」の部分に記載するキーワードの形容詞として、社会受容性のある、つまりの中に受け入れられるかを追加するのがよいと判断した。これがロボフレ分析テンプレートの第 1 階層のキーワードとして「社会時養成のある環境技術」、「社会受容性のあるロボット技術」、「社会受容性のあるヒューマンマシン技術」と表現した理由である。いいかえると、広義の意味のロボフレは、自動化やものづくり改善、ひいては改善につながるものであり、そのベースとして IE が活用できるのである。

**（ロボフレキーワードの効果）** このようにして得られたロボフレ分析ツリーのキーワードは、改善やロボフレを実現するうえで重要な要素であり、それが体系的に整理されていることで、欠けが発見されたり、より本質的なキーワードに行きついたりすることが可能になる。これがロボフレ分析の効果である。

5. ロボフレシステムづくりにおける IE  
～ロボフレ改善理論としての IE～

第 5 章では、ロボットシステムづくりにおいて、ロボフレ改善に役立つ IE 手法を説明する。5-1 では、ロボフレツリーに IE 手法をマッピングすることにより、ロボフレ改善に利用できる IE の全体像を示す。逆に、5-2 では、代表的な IE 手法をとりあげ、それ

が可能とする改善効果を説明し、そのロボフレへの展開を示す。

5-1 ロボフレ改善に利用できる IE

5-1-1 ロボフレ改善への IE 支援一覧

（ロボフレツリーへの IE 手法のマッピング）ロボフレツリーの要素であるテンプレートキーワードに対して、有効に利用できる IE 手法をマッピングしたものを図 9 に示す。

ロボフレツリーの第 1 階層の a)環境、b)ロボット、c)人間に対応するテンプレートキーワードが、A)社会受容性のある環境技術、B)社会受容性のあるロボット技術、C)社会受容性のあるヒューマンマシンインターフェース技術であるが、それぞれに対して、IE の改善マインドの  $\alpha$ ) ものマインド、 $\beta$ ) 設備マインド、そして  $\gamma$ ) モーションマインドが対応する。そして、これらのテンプレートキーワードである A)、B)、C) の技術の創出時、実現時には、それぞれが対応する IE の改善マインドの  $\alpha$ )、 $\beta$ )、 $\gamma$ ) に関連する IE の考え方や理論、方法論が有効に活用できる。その一方で、このロボフレツリーのトップレベル（第 0 階層）の Why（課題と効果）に関しては、改善マネジメントで提唱されていることがあてはまる。例えば、改善マネジメントで提唱されている『改善活動によって業務効率（生産性）向上させて余裕を作り（金持ちサイクル）、それを製造・改善・開発レベルの向上の時間にあてましょう』といった考え方が有効に活用できる。それには、『全員が健全なる危機感をもって 前向きに“楽しく”改善活動をやって、問題解決能力を向上させよう。』の考え方も併用される。また、ロボフレツリーのトップレベル（第 0 階層）の Why（課題と効果）のサイバーワールドに関しては、改善マネジメントの情報マインドが利用でき、特に情報 output 明確化の考え方が効果を発揮する。これについては、次節 5-1-2 で詳述する。

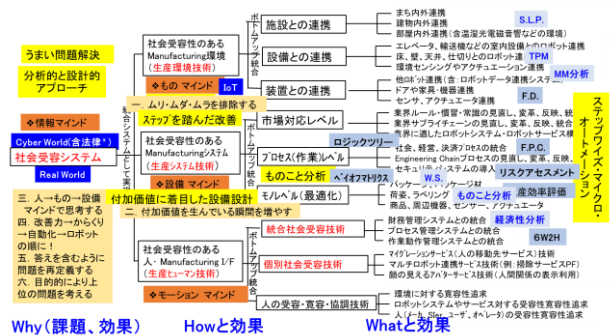


図 9 ロボフレ改善で利用できる IE 手法一覧(改善のロボフレ分析)

ロボフレツリーのより下位の階層、第 1 階層の How, What に関連した技術の創出時・実現時には、図 9 の右方に示した様々な IE の手法が、有効に利用できる。このようにマッピングされた手法によれば、より有効にロボフレ改善を実現できたり、ロボフレにつながるロボットを具現化したり、あるいは環境を考えたりすることが可能になる。

(ロボフレを深くする IE、ロボフレのすすめへの昇華) 逆に言うと、ロボフレ関連技術をより深めようとする場合には、IE にはそれを可能とする考え方や手法があるので、図 9 に示す場面 (具体的には、ロボフレプレートキーワードの場面) で、その手法を活用することにより可能になる。これは、洞察の深いロボフレを実現することにつながる。

さらに、図示された IE に関するキーワード、例えば“改善のすすめ”は、実は“ロボフレのすすめ”に置き替えることができる。このような努力を積み上げることで、“ロボフレのすすめ”を充実させることができる。

別の例をあげよう。IE でいわれる「手段と目的の妥当性を検討する」という考え方は、単なる IE の世界の命題ではなく、ロボフレだったらどうなるのかというような視点でみることで、“ロボフレのすすめ”を充実させることができる。“改善のすすめ”と“ロボフレのすすめ”のアナロジーは、後者を充実させるうえで非常に役に立つと考えている。

### 5-1-2 ロボフレへの情報マインドによる支援

(ロボフレのサイバー世界と IE のアウトプット明確化のすすめ) 情報マインドで、ロボフレツリーのトップレベル (第 0 階層) のサイバーワールドに関わる領域で、最も役立つと考えられる“情報 Output の明確化のすすめ”を図 10 に示すように説明している。この IE 手法によって可能になるロボフレ改善は、それが第 0 階層に属しているためロボフレ全般に関わることである。

“アウトプット明確化のすすめ”は、IE 協会による改善事例集『現場力を鍛える』[6]に記載されている事例である。この事例の改善前の状態は、人事情報や、生産活動情報などを蓄積したパソコンが多数存在していて、それぞれ目的に応じてその情報を必要とする人が、個別に、帳票などのデータを出力していた。これはスパゲッティ状態の情報システムであった。そこで、これを改善するための方策として、まずアウトプットとして最低限必要な帳票を明確にし、それに必要な情報を絞り込み、それらを統一データベースとして整えて、ワンクリックで出力できるようにすると、この改善によって約 4 割の工数が削減できたとのことである。

重要な知見は、なんでも情報システム化するとい

うのではなくて、本当に必要な情報、(データではなくて情報 (情報とデータの違いは、情報は人間がアクションを取れるということ)) を明確化して、前に遡って 1 回だけデータを入力すれば、後はスムーズにデータが流れるようなシステム化を実現できるということである。言い換えると、スムーズな情報フローおよびデータフローを考えて、情報システムを設計することがポイントになるということである。この知見、アウトプットから使う情報と最低限のインプットを明確にして情報システムを構築すること、は大切な知見である。ロボフレとの関連でいうと、ロボットが情報側面での人間支援の役割を果たそうとする場合、このようなワンクリックで適切な支援をしてくれる情報システム実現の考え方は、まさに、人にやさしいロボットシステムとして結実する。

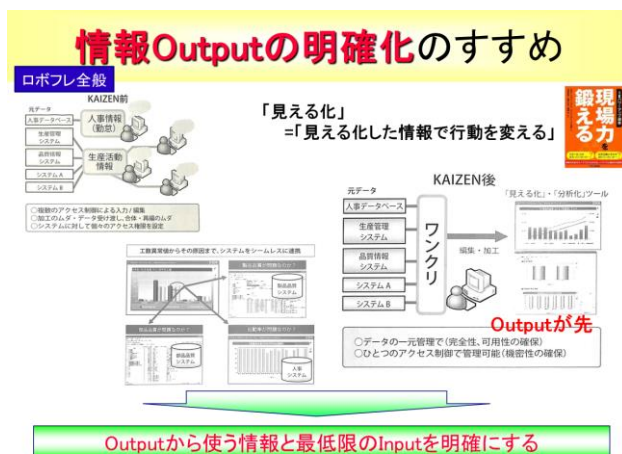


図 10 情報 Output の明確化のすすめ

### 5-2 IE により可能となるロボフレ改善

生産企業に改善とそれを可能にする IE を広める要諦は、改善活動によって生産性を向上させて余裕を作り (金持ちサイクル)、それを業務・製造・改善レベルの向上の時間にあてることにある。そして、全従業員が健全なる危機感をもって楽しく改善活動を進め、問題解決能力を向上させることにある。

同様に自動化・ロボット化においても、それによって生産性を向上させ、金持ちサイクルにすることが大事である。それを可能にする改善活動やそれを支える IE 手法の活用は、その基礎となる。ただ、IE では、最終目的は生産性向上にあり、ロボットはあくまで手段と考えるものであるが、さまざまな改善は、実はロボット化、ひいてはロボットの普及しやすうするという意味で、ロボフレへつながっていくことが多い。

(他の IE 手法とロボフレ) その際には、IE で提唱されている、“分析・設計的アプローチ”、“ステ

ップを踏んだ改善”、“うまい問題解決”のIEの考え方が特に有効に活用できるので、以下にその詳細を説明する。

### 5-2-1 分析的・設計的アプローチによる支援

これは、“分析的アプローチと設計的アプローチ”が正式な呼称で、これら2つのアプローチを併用することで、有効に課題解決システムを構築するためのIEの考え方である(図11)。ロボフレ全般に活用可能である。

IEでは現状の仕事の対象を決めて分析することで、その中からムリ・ムダ・ムラを発見する。それらを排除した改善案で新しい仕事のやり方を構成(設計)していく。そこで役立つのが人の手で実施している工程の分析である。この流れの活動(分析活動パス)を分析的アプローチ、あるいはシステムティックアプローチと呼んでいる。一方、現状の仕事の本質的価値およびエッセンスを抽出しただけだと、それだけでは役立たない。そこで、付随要素を加味して改善案を考えたシステムを構築して、作業を実施させるようにする。ここで役立つのが前述したものこと分析であり、この流れの活動(統合活動パス)を設計的アプローチ、あるいはデザインアプローチと呼んでいる。図11に英語で書かれた下側の分析にもとづいたパスの結果、分析・抽出された課題群に対しては「There is always a better way.」が肝要であり、上側の統合活動パスにおける設計においては「Simple is best.」が肝要である。改善に慣れてくると上のパスを通れるようになるが、まずは下のパスを通ることによって現状を正確に把握、および見える化し、そこから上のパスに上がって改善案を構成することを勧めているのがこの手法である。さまざまな場面に効果を発揮する。すなわち、両方のアプローチがあって、それらをうまく使うことが大切なのである。

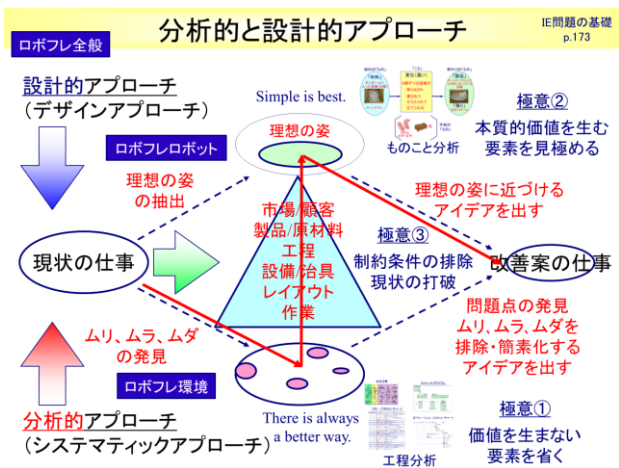


図11 分析的と設計的アプローチ

### 5-2-2 付加価値設備設計の考え方による支援

付加価値に着目した設備設計の考え方を整理すると図12のようになる。ものづくりにおいて加工設備で部品を加工して製品を製造する場合、まず製品の最良の付加価値を目指して、最良の加工点と良品条件、重力方向、加工方法を考える。次に、最良の加工法に関連して、加工治具、位置決め治具、保持治具を設計する。さらに、最良のロットサイズと移動方法に関連して、材料の供給と荷姿、製品の取出しと荷姿を設計する。このように最良の加工点、最良の加工方法、最良のロットサイズと移動方法の上位から下位へと演繹的に考えていくと、シンプルな設備設計ができ、良品条件を考えるヒントになる。これはロボフレにおけるロボットを選定し、作業法を考え、決定する際に、役立つと考えられる。具体的にいうと、ロボットが、どこから対象物にアクセスするのか、どのように作業(たとえば溶接)をするのか、その際に用いる治具をどう考案し、設置するのかなどを考えることに相当する。

なお、設備設計する人は、上記のことを考えて活動するが、時として、途中から新たな要求が入ってくる等により、設備が複雑になったり、大きくなりすぎたり、あるいはロットサイズがバラバラの設備となり、流れが良くない工程や工場となってしまうことが発生する。ロボットの選定においても同様に、常に全体最適を考える必要がある。

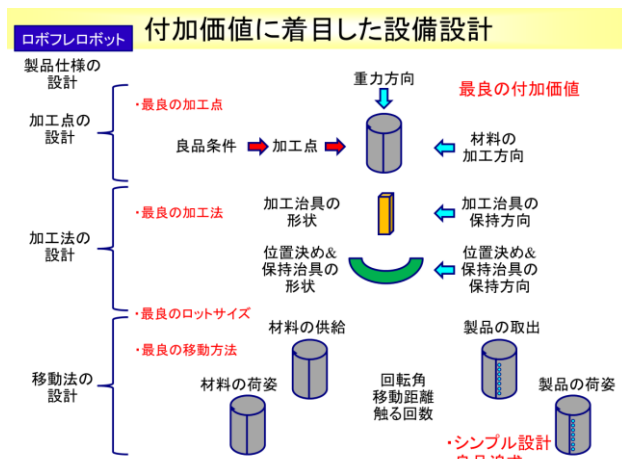


図12 付加価値に着目した設備設計

### 5-2-3 ステップワイズオートメーションの考え方による支援

第2章では、容器供給作業の改善事例がステップワイズオートメーションの考え方で説明でき、IEの考え方が改善のよりどころとなることを紹介した。また、ステップを踏んだ自動化をめざしての薬瓶詰め作業の事例では、道具、設備、シンプル設備(も

の動き最少)の考え方が改善のよりどころとなることを紹介した。これらの考え方は、ロボフレ改善においても転用できるものである。例えば、ロボットを導入する際には、ロボットが使う道具やからくり、治具を工夫することが、結果として QCD に優れたロボットシステムにつながることで、経験上知られている。ここで述べたステップを踏んだ改善の手法は、ロボットの普及促進を介してロボフレに貢献する。

#### 5-2-4 ステップを踏んだ改善による支援例

ステップを踏んだ改善の流れを図13に示す。製造設備における改善活動と同様に、ロボットでも改善活動においてステップを踏むことが大事となる。具体的にいうとロボットを導入する前に、単純な自動化(例えば道具あるいは電動に関する改善)を検討し、さらにかからくり改善を検討することが大事なのである。そして、これらを推進するためには改善力を身につける必要がある。これは、情報システムあるいはIoTやAIも同じであり、IoT導入の前に開発力、その前に分析力、さらにその前に業務改善力が必要である。業務の流れをシンプルにしてからシステム化していく、自動化していくということは、設備とロボットとで、同様な考え方ができる。問題解決の側面で見ると、現状のムリ・ムダ・ムラがある状況の中から、理想のロボット化とIoT化に進むというのは大切ではある。しかし、一足飛びに理想に行くのではなく、自分たちが扱える形で改善力を身につけながら理想に向かって実績をつみあげていくことが非常に大切なのである。

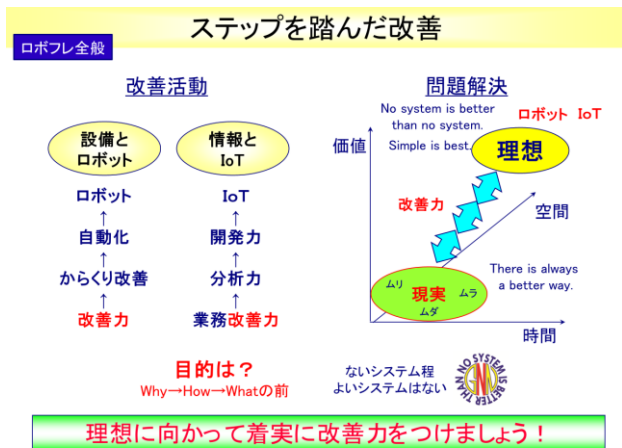


図13 ステップを踏んだ改善

ゴールデンサークルの Why、How、What に関するキーワードを、最初に明確にして、これらを実現してゆけるのなら、程良いシステム実現がスムーズに可能となる。これは問題解決のモードで言うと、「解

消」というレベルになる。最終的には、理想のロボット化、およびIoT化に進むことを目指すのは、大切なことであるので、そちらに向かって着実に改善力を身につけてステップを踏んで改善をベースに実現していくことが大切である。

#### 5-2-5 うまい問題解決による支援例

IEで提唱されている“うまい問題解決(図14)”に関しては、『IE問題の基礎』[2]という著書に改善に関する哲学として、次に示すように扱われている。つまりこの著書では、問題とはなんぞや、問題にどうアプローチしたらよいか、問題解決にはお互いの価値観を理解することが大切だということ、そしてIEの技術的側面に関する考え方、さらにIEで扱われる人間的側面、人間が集まると組織になるその組織の側面でどんなことを考えたらよいかといったことが論述されている。

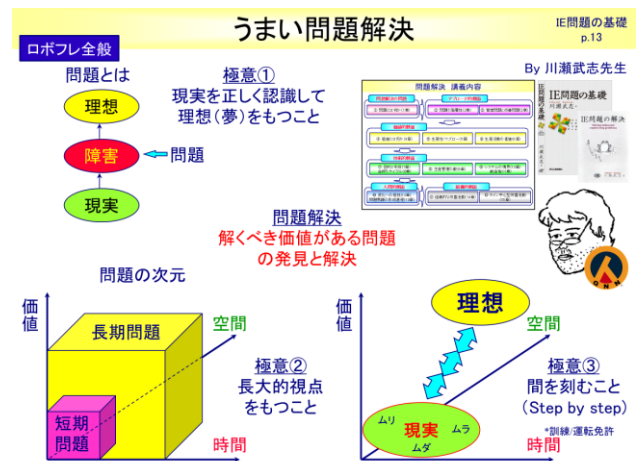


図14 うまい問題解決

具体的には、問題とは何かに関しては次のように定義されている。現実と理想の間にある障害、この障害を問題と呼ぶ。そして、これを取り除くことを問題解決と呼ぶ。その極意は、現実を正しく認識するとともに、理想を持ってこの問題解決に当たるということが述べられている。さらに、問題の次元に関しては、一般的な時間と空間の次元に加えて、価値の次元を加えた3つの次元(軸)で捉えることが提唱されている。通常、短期的問題は認識しやすいが、これを長期的あるいは大きな視点を持てれば、その中に答えが含まれる可能性が大きくなる。これから帰結される極意としては、長大的な視点を持って問題解決に当たることということになる。これに加えて、前述したようにステップを刻むことも重要であることが述べられている。さらに、何よりも重要なことは、この問題が解くべき価値があるかどうかを考えるべきであることも述べられている。解くべき価値がある問題を抽出・発見して、そして解決

することが提唱されている。この事項が、ロボットシステム構築分野でも成り立つことは、いうまでもない。

## 6. ロボットシステムインテグレーションへの IE の援用

本章では、IE の理論や手法の応用例の一つとして、SIer がなりわいとしているロボットシステムインテグレーションに関して、IE が援用できることを述べる。具体的には、SIer 協会が提唱しているシステム構築の手順（プロセス）のうち 1)引き合い、2)企画構想、3)仕様定義、4)基本設計の各プロセスにおいて、ロボットシステム構築にあたって IE の考え方や理論、手法が、有効に働くサポートされることを述べる。

著者らは相模原市で SIer 向けの人材育成事業（SIer 養成講座）に関係している。この SIer 養成講座では、受講生が工場見学ののち、見学した工場の製造プロセスのうちどの部分をロボット化するかを判断し、そのロボットシステムを概念的に構築してみせる実習が行われている。著者らは、その実習においてロボットシステム構築を支援するシステムの実現を目指して、研究を実施してきた。本章では、その成果を紹介することで、ロボットシステムインテグレーションにおいて、IE がその基礎を提供し、SIer 支援が可能になることを述べる。

### 6-1 SIer の役割と SIer 養成講座

**(SIer の存在)** R 社で双腕ロボットを導入したが、結局は使われずに倉庫に眠っているという事例がある。これは、導入したロボットシステムが、ユーザーの狙いにあっていなかったり、その品質、納期、コストがみあわないなどの理由による。これを避けるために、高付加価値化およびプロセスイノベーションの旗手としての「SIer の存在」がある。

**(SIer の役割)** ロボットシステムを導入する場合に、さまざまなロボットや機器を組合せて目的とする機能をもつロボットシステムを構築する事業者が SIer である。SIer は顧客要求をもとに、システム付加価値を考慮しながら、ロボットシステムを構築し、設置調整し、さらにメンテナンスも含めて、最終的に顧客の QCD（品質、コスト、納期）を満足させるようにする。これらの多くの項目を、SIer メンバーの新人にどのようにすれば教育できるのかが問題になる。

**(SIer に求められる機能)** 工場にロボットシステムを導入するためには、潜在ユーザーの掘り起し、工場における製造工程の分析、ロボット化部分の決定、経済性・安全性の評価、ハード・ソフト仕様の決定、ハード・ソフトの実現、ライン構築、チューニング、

納入・メンテナンスなどのプロセスをこなす機能が SIer に求められる。これに、協業すべきサービス業、大学、メーカーなど多くのステークホルダーが関係しているため、これらのステークホルダーとの連携機能も求められる。筆者らは、これらの機能を全て人が受け持ち果たさざるのではなく、ある部分機能はコンピュータで支援してもらうことを考えた。

**(相模原の SIer 養成講座)** 相模原市には多くの中小企業がある。全ての企業が自社のみで、上記の全プロセスをこなすことは困難である。そこで、特定機能に強い独立した中小 SIer を育成し、いくつかの中小 SIer がチームとなって SIer としてロボットシステム導入を担うことを考えた。一方、相模原市では、市の主導で、相模原産業創造センター主体のいろいろなプロジェクトが動いている。そのプロジェクトの中に「ロボット SIer 養成講座」がある 2017 年から開催され、2023 年で 7 回目になる。この 3 か月続く講座は、前期 2 日間、中期 2 日間、後期 1 日の 5 日間のコース構成となっている。対象は新人 SIer あるいはある程度の経験者とし、専門講師による技術講座と実際のグループワークとして開催されている。ここでは、参加者は、4~5 名から編成される複数のチームに分けられ、まず講座前期の初期段階で、ロボット化要望がある企業から、ヒアリングにより検討題材をいただく。そして、その企業がロボットシステムを発注するとしたら、どのような作業に対し、どのようなロボットシステムが適しているのかを、各チームのプロジェクトとしてグループワークで検討する（Open 課題）。中期の中間発表時には、その検討した内容を熟練 SIer や学識経験者らで構成される評価委員会のメンバーに対し発表し、コメントを受ける。講座の後期では、ロボットシステムの安全性や最新技術の講義を受講しつつ、中間発表で指摘された事項を踏まえて、構築するロボットシステムのリファインを図る。後期の最終日の発表会（最終発表会）では、その成果をプレゼンテーションすることにより、評価・講評を受ける。著者らは、この SIer 養成講座そのものの企画段階から参加させていただいており、参加者がグループワークでやっている内容を、前期の企業ヒアリングから、中後期のロボットシステム設計までのプロセスをシステムティックに関連づけてシステムとして支援する“SI 支援システム”の実現をめざした研究を進めている。

### 6-2 SI（システムインテグレーション）支援システム

**(SI 支援システム概要)** 2022 年度に当研究室の鈴木が Microsoft 社の Excel-VBA を用いて開発した、最新バージョンの SI 支援システムの全体像を図 1 4

に示す。実現された SI 支援システムは前述したように、ロボットシステムインテグレーションプロセスのうち、1)現状分析、2)企画構想、3)仕様定義、および4)基本設計の部分を支援するメインの支援機能を提供する「設備機能設計」ソフトウェアと、その周辺を支援するサブの支援機能を提供する「知識補助機能」と「資料作成機能」のメイン・サブ構成となっている。

(SI 支援システム詳細) 設備設計機能では、現状分析・企画構想・仕様定義・基本設計のプロセスを、以下のように支援する。1)の現状分析においては、ヒアリングシートを用いた顧客ヒアリング時にそのひな形となる“ユーザヒアリングシート”、リスクアセスメントを容易に実施できるようになる“リスク評価(ひながた)シート”を提供している。これらは、IE の工程分析やものごと分析の手法を利用することによって手順を踏みながら実施する際の現状分析を支援する。2)の企画構想においては、“安全対策ガイド”、“ロジックツリー”や“ペイオフマトリックス”を使って課題を明示的に整理して、効果的に解くべき課題を決定できるように支援する。3)の仕様定義においては、“加工点設計”、“枠組み設計”、“シンプル設計”、“レイアウト設計”、“設計図・リスク評価”などの IE 手法を援用することで、それぞれの作業を理論的な裏付けをもったプロセスとして支援する。最後の4)の基本設計においては、“設計図の作成”、“再度のリスク評価”、“改善前後の比較”、“経済性評価”などの IE 手法を援用することで支援する。

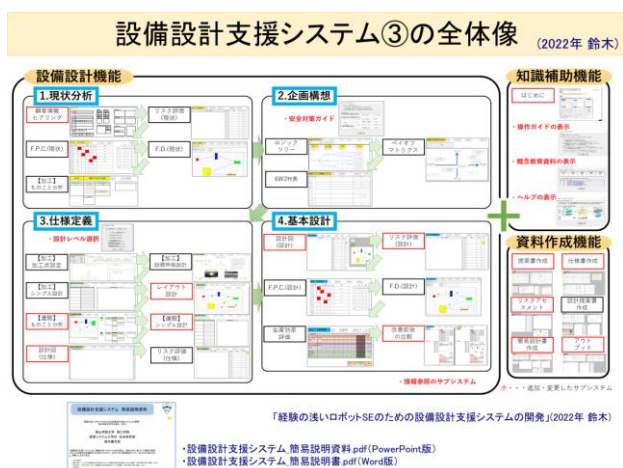


図 14 SIer 支援システム

(SI 支援システムの特長) このシステムのポイントは、最終成果として得る提案書において必要となる情報を初期段階で明確にすることで、SI 支援機能を以下のように整理しながら提供することにある。つまり、支援機能を最初の顧客ヒアリングの項目から

最低限必要な情報の流れをさまざまな IE 手法により情報要素変化表として整理して、提供するシステムとなっている。さらに、思考過程の見える化に関しては、ペイオフマトリックスなどを使って課題を図的にマッピングしたり、演繹的に逆向きにシンプルな設備を設計することを意識したものとなっている。それに加えて、Excel が得意とする分析や計算の自動化の支援機能も備えていることもポイントである。

## 7. IE に基づく改善から学ぶロボフレの展開

本章では、IE の理論や手法の応用のもう一つの応用例として、著者が企業の改善活動を支援する中でまとめた、IE による改善マネジメントの極意などの理論や手法が、ロボフレの将来展開のヒントを与えることを説明する。これにはロボフレ全体に関するヒント、あるいはロボフレを組織的にマネジメントするような仕組みや文化にするヒントも含まれている。

### 7-1 精密板金加工における事例

第3章で述べた事例に追加して2つの事例を示す。中小企業である精密板金加工企業における初歩的な事例である(図15)。



図 15 事例：一日一改善と金の羊羹

(課題の列挙と改善の集積) この事例ではまず、改善の第一歩として現場の現象を色々な角度から見る、視る、観ることによって問題点を列挙した。全社員を各チーム4~5名の5チームに分け、各チームで200個の問題点の列挙を目標にして、皆で工場を歩き回りながら問題点をポストイット®に書いて集めた。この時、制約や前提を設けず、気づいたことは何でも書いてよいことにした。大切なことは、現場の社員自身で問題点をできるだけ多く網羅的に列挙することである。列挙した問題点の中から、

身近ですぐ解決できそうな問題点から1つずつ取り上げて改善を実施した。これを「1日1改善」として改善検討会で報告した。実施済改善の報告件数は3年間で863件になり、生産性は1.5倍に向上した[7]。このように、全社員が基礎体力をつけて継続的で身近な改善はできるようになったが、改善が行き詰まったりマンネリ感が漂う場面も増えてきた。

**(作品開発プロジェクト)** それらを打破するために、従来の製造技術の向上と新たな製造技術の習得をねらいとして、1つの作品を開発するプロジェクトにチャレンジした[8]。プロジェクトでは、コンテストに出品できるような金属製のバイオリンを製作した。その製作過程において、1)曲面をもつ表板と裏板の独自金型の考案と製作、2)鏡のような仕上げのための研磨方法の探究と習得、3)滑らかな形状をもつ多くの部品の検討と製作、4)複雑な形状の部品の細部における再現性の追求と実現など、主に4つの製造技術の課題に分割し、様々な調査・検討・実験・試行錯誤を繰り返して課題を克服した。このプロジェクトを実施した結果、従来の金型加工、曲げ加工、溶接加工に関するより高度な技術を習得でき、新たに研磨技術を習得できた。

## 7-2 医療機器製造の事例

もう一つの事例は、医療機器製造企業の高度な事例である(図16)。親会社からの注文に応じた設計・営業を除く生産を担う医療機器製造企業は、社員採用時に「作業することはもちろんのこととして、作業自体を改善することを業務とする」ことを伝えて素人集団からスタートし、大規模な生産技術スタッフなしに、レベルの高い改善を実施してきた[9]。  
(パイプ台車流し生産の実現) 部品や製品を運搬しているのは人間でなく、自社開発した背の低いもぐり式自走車である。これはネットワークのパソコンで管理されており、製品と空台車の運搬のためにタイムリーに各工程へ出発していく。組立工程の仕掛品1台ごとに自走車を用意すると、工程数分の自走車が必要になり、費用が莫大になる。そこで、最小限の自走車で最大の効果を出す方法を考えた結果、製品のフレームの払出から組立、検査、梱包まで製品を「乗せる、降ろす」ことなく、イレクタパイプ台車ごと流す方法を考案できた。

**(作業記録管理システムの実現)** 全工程には、作業者の正面に自社開発した工程支援システムのためのパソコンが配置されている。作業者は、作業名をマウスで選択し、自分の名札と取付部品の入ったピックアップ箱に貼ってあるバーコードを読みこませることで作業が開始される。足元のフットスイッチを踏むと、部品や使用工具や取付位置などの作業内容と点検内容が、パソコンの画面上にシステムから

の指示として表示される。この作業指示に基づいて組立作業が行なわれる。組立作業が終了すると、作業時間などが表示され、確認のクリックを押すと作業が終了する。組立に関するすべての行動が記録されているので、時間管理と時間のかかる作業を抽出して改善することが可能になっている。

## 7-3 改善とロボフレのステップアップ

これらの事例のように改善が風土になれば工場の飛躍につながる。ロボフレでも同じことが言えて、これからのものづくりでロボフレが風土になれば、日本的にも非常に大きなメリットを生み出せると考える。以下では、そのステップアップを議論する。



図16 事例：目指せ改善のイーハートープ

改善活動には色々な改善力のレベルがあり、著者はこのレベルを教育課程になぞらえて、小学校、中学校・高校、大学・大学院という3つのレベルに分類している(図17) [7]。小学校レベルでは、現場による身近な改善を主体とした、安全衛生管理、5Sによる改善、一日一改善が中心となる。中学校・高校レベルでは、現場とIErを主とするスタッフによる現場での改善を主体とし、作業の標準化、治工具の改善、作業の部分的な機械化や自動化、設備の高性能化、生産管理業務の改善、現場業務システムの開発などを実施する。大学・大学院レベルでは、制約条件の排除や現状の打破などの改革的改善が主体となる。IEを取り入れた設備設計、作業の完全な機械化/自動化、TPM(設備保全技術)をベースにした加工点研究、全社情報システムの開発、営業部門との共同改善、設計技術の改善、新製品の開発などを実施する。さらに、IE手法の自動化、新たな改善手法の開発、改善の着眼点や発想を与える考え方の構築、部門の垣根を越えた連携による問題解決などを実施する。

改善マネジメントの視点でみると、小学校レベル

では「変化」することがねらいであり、「改善のすすめ」の手法が有用になる。次に、中学校・高校では問題を「分析・科学」的にとらえるために、「IE手法」が有用になる。さらに、大学・大学院レベルでは「独自・創造」的な改善を行うために、「二極思想的アプローチ」が有用になる。

	変化	分析・科学	独自・創造
ステップ	1(小学校)	2(中学・高校)	3(大学・大学院)
施策	<ul style="list-style-type: none"> <li>安全/衛生管理</li> <li>5Sの改善</li> <li>一斉改善</li> <li>作業方法の改善</li> <li>小集団活動</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>設備の高性能化</li> <li>道具の改善(治工具)</li> <li>部分的機械化/自動化</li> <li>生産管理の改善</li> <li>現場情報システムの開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>機械化/自動化</li> <li>情報システムの開発</li> <li>営業部門と共同改善</li> <li>設計技術の改善</li> <li>新製品開発</li> </ul>

図 1 7 改善力のレベル

ロボフレマネジメントでも上記のようにレベルを設定して、だんだんレベルアップしていくことが必要である。ロボフレでもいきなり大きな成果だけを求めるのではなく、人材教育も含めても含めてステップアップを考える必要がある。

#### 7-4 改善とロボフレのすすめ

本節では、学問のすすめになぞらえた「改善のすすめ」[10]について述べる。これは改善のアレルギーをとるためのものであり、改善事例をベースにして、改善のキーワードの 24 個を 3 つのステップに分けて構成したものである。①現象をよく見るステップ、②多くの良いアイデアを出すステップ、③夢の改善に向けた原則的なステップで構成されている。筆者はこの改善のすすめを使って、改善活動を広めている。この活動においてはまず、中小企業の社員全員に集まってもらって、一通り聞いていただくことで、改善したいなと思っていただくことからスタートしている。5 万人規模の A 社では、自社の改善事例やビデオを含めてキーワードも変更した改善の説明などを作った独自の改善にすすめを作成して、全社員に教育を完了し、現在は新入社員を対象に教育している。

この改善のすすめをベースとして、「ロボフレのすすめ」のような教育資料ができると面白いのではないだろうか。

#### 7-5 改善マネジメントの極意 1 “品質第一”とロボフレ展開

改善マネジメントの極意の 1 つ目は「品質第一」である[11]。著者は生産性に関する IE が専門であるが、品質が満たないのに生産性を上げてても効果がないと考えている。したがって、改善によって安全、品質、コスト、納期の順に積み上げていくことが大切である。ものづくりに携わっている方は当たり前

だと思われるかもしれないが、安全や品質がなくなって初めて大切だったということを確認する。近年の事例では、利益や生産性を追求しすぎて大きな社会問題となっている。改善活動に関しては、現場力の育成、ものづくり力は人材育成が大切だと考えている。品質に関して言えば、現場で現場の方が QC7 つ道具を用いて品質に関して定量的にデータを取って意識をしていく QC 活動、またレベルが上がると工程保証という意味で QA、さらに QM という風にレベルが上がっていく。組織的な技術管理に大切なことは、直接お金を儲けている方の品質や生産性を改善することである。

何があっても安全ファーストというのがあり、その上に品質ファーストがあり、その上にさらに生産性の向上という構造は、ロボフレにも同じことが言える。

#### 7-6 改善マネジメントの極意 2 “標準化”とロボフレ展開

**(標準化)** 2 つ目は IE で大切にしている「標準化」である。何も無いところでは、まず標準を作り、次に標準を守る。そして、守っているだけでは進歩がないのでより良いやり方に改善および改革していくステップを踏んでいる。「守・破・離」である。

**(ばらつきと標準化)** ばらつきに関して考察する。生産資源・製品資源にばらつきがあり、生産システムもばらつき、結果としての品質や時間がばらつく。これらのばらつきを抑える、標準化していくことが大切である。例として、作業時間のばらつきを考えてみよう。作業時間の分布をみると、やり方がいくつかあるとそれらの合成となりこの分布で時間がばらつく。まず第一歩では一番早いやり方で標準を作って揃えていく。その次は、ばらつきを押さええて最小値でできるようにする。さらに、より良いやり方を求めてやっていく。実際の改善活動でばらつきに着目してロボット設計をみると、基本的にロボットはばらつかないと考えられていたが、ロボットの動きを分析したりタイムチャートを書いてみると実際うまく動いてないことが発見できた。このように、ばらつきに着目したロボット設計ができると考えている。

IE における標準化にいろいろな方法があり、ロボフレでも、システムをモジュールに分割し、そのモジュールを標準化して複数の SIer が購入などを通して共通につかえるようにすることが、構築するロボットシステムの QCD (品質、コスト、納期) を適切なものにするために重要なことである。上記の改善マネジメントの極意からの知見は、ロボフレにおいても重要なヒントとなる。

7-7 改善マネジメントの極意3 “革新採用過程モデル” とロボフレ展開

(革新採用過程モデル) 3 つ目は社会学者のロジャースによる「革新採用過程」のモデルである(図18)。これは改善活動を始める前にマネジメントの方に理解していただいている内容である。新しいことを採用する時に皆が一気に実現できないということである。ロジャースは農業における新種の苗の採用過程を長年分析した結果、5つのカテゴリーとして革新者、初期採用者、前期追従者、後期追従者、遅滞者があり、これが正規分布になるモデルを提唱している。

(初期段階での革新推進努力への注力) IEの改善活動では、この革新者や初期採用者を成功させるために、初期の段階で革新推進努力を投入していくことが肝要である。この人たちを成功させると追従者が出てくるからである。革新の効果がどう出るかというと、参加人数に比例する。そこで大切なことは、全体はすぐには動かないこと理解することである。これを「0→1→∞(無限大)の原則」と呼んでいる。50%の成功を100作るよりも、100%の成功の確実な1を作る方が広がりやすい。50%の成功の場合は批判や批評で文句がでるので、狭い範囲でよいので成功させる、0から1を作ることが大切である。遅滞者に関しては、遅れてくる人たちがいるので「いつでもおいで」と落ちこぼれを作らないことも大切である。

革新採用過程において初期採用者を育てることと遅滞者を見捨てないことが大切であり、ロボフレについても同じである。

改善マネジメントの極意③: 革新採用過程

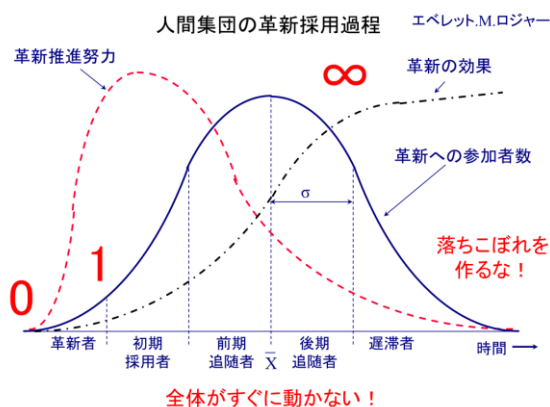


図18 革新採用過程のモデル

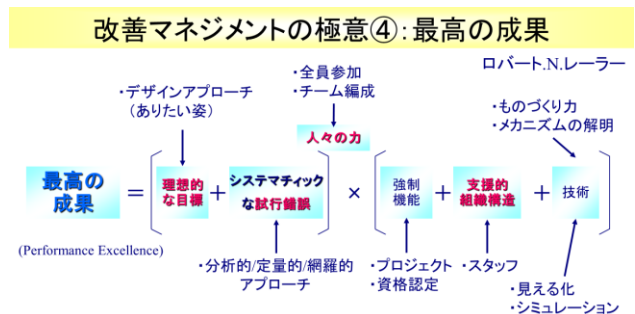
7-8 管理マネジメントの極意4 “最高の成果” とロボフレ展開

(最高の成果を得る要件) 4 つ目はIEの専門家のレーラーによる「最高の成果」の関係式である(図19)。

9)。最高の成果を出すためには、1)理想的な目標を持つ、2)システマティックな試行錯誤をする、3)そして強制機能と支援的組織構造と技術があり、4)人々の力がべき乗で効いているという関係式が提唱されている。

(最高の成果を得る要素) これらの項目の具体的な要素を見てみると、1)の理想的な目標ではデザインアプローチでありたい姿を描くことである。2)の試行錯誤では分析的・定量的・網羅的なアプローチを適用することである。3)の強制機能ではプロジェクトの実行や資格認定がある。支援的構造ではスタッフが黒子となってサポートすることである。4)の技術では固有技術と管理技術の両方を大切にすることである。人々の力では全員参加およびチーム編成である。この人々の力において、人々のやる気、楽しくやるということが効いてくる。技術はなくてはならないが、人々のやる気が非常に重要だと考えている。

最高の成果の関係式については、前回講演(第二回ロボフレ委員会)の食品ロボットプロジェクトとロボフレにも成り立っている。



- \* :「人々の力(意志)」は成否を分ける Key Factor  
やり遂げようとする強い意志とその継続は、必ずや問題の解決へつながる。
- \* :「技術」はあまり重要ではない  
技術をできない理由にするのは、やる気がない証拠である。

図19 最高の成果の関係式

7-9 改善マネジメントの極意5 “うまい問題解決” とロボフレ展開

(金持ちサイクルと貧乏人サイクル) 5 つ目は第4章で述べた「うまい問題解決」である(図14)。その中で金持ちサイクルと貧乏人サイクルという考え方があり(図20)。横軸に時間、縦軸に負荷/能力を取り、ある時点で100の能力がある時に85の負荷をかけると15の余裕ができ、その15の余裕で自分の改善力を高めていく。半年後には115の能力になって大きな余裕があるので、ここで100の負荷をかける。その時に改善報酬を付与する。まだ15の余裕があるのでもっと能力を上げていく。この余裕を使って余裕を作っていくというのを金持ちサ

イクルと呼んでいる。一方、貧乏人サイクルは、能力を上げるために何も施策を実施しないであげる。要するに、毎日が忙しいというのが貧乏人サイクルである。そうすると、毎月残業代を支払うので、作業員の方は疲弊してしまい、最終的には給料の算定基準の標準時間を決めるために無駄な能力が使われることになる。余裕がある時にいろいろなことをインプットしてよいアウトプットができる、すなわち余裕を作って余裕で余裕を生むというのが金持ちサイクルである。

**（勤勉な日本人は有利？）** 余裕をもって余裕を作るという金持ちサイクルの視点でみると、日本人は勤勉だから欧米を追い越すに違いないと考えていたが、欧米人が長期のバカンスを取ることによって余裕を作ってそこで考えを大きく展開することも非常に有効である。

二極思考アプローチについては、いろいろなことと極を二極思考で考えて広げていくことは大切であり、ロボフレも全く同じである。

### 改善マネジメントの極意⑥：二極思考的アプローチ

思考範囲を広げて制約条件を排除し現状を打破するために、より高い視点とより広い視野の思考力を養うための考え方

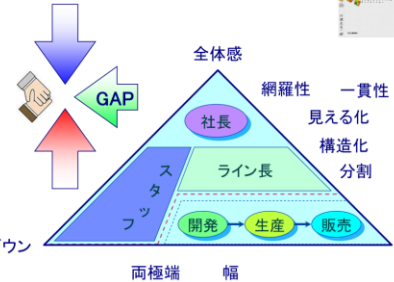
By 川瀬志先生

【方法論】

- ① 現実と理想
- ② 帰納と演繹
- ③ 手段と目的
- ④ ミクロとマクロ  
(虫の目と鳥の目)
- ⑤ 基礎と応用
- ⑥ 具象と抽象

【活動】

- ⑦ 分析的アプローチと設計的アプローチ
- ⑧ ボトムアップとトップダウン
- ⑨ 改善と改革



- 極意①：両方の視点を持つこと、両方を行ったり来たりすること  
極意②：GAPをうめること、間を刻むこと

図 2 1 二極思考アプローチ

### 金持ちサイクル

IE問題の基礎 p.119

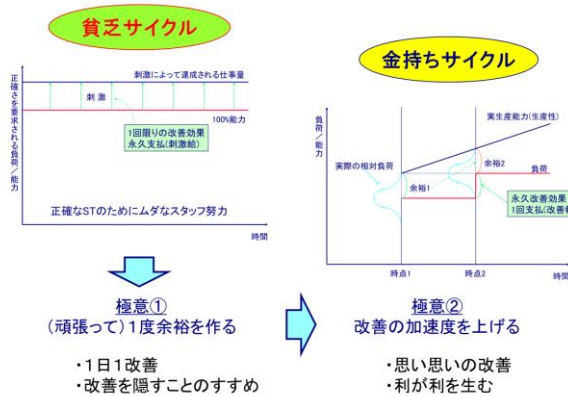


図 2 0 問題解決における金持ちサイクル

### 7-10 改善マネジメントの極意 6 “二極思考アプローチ” とロボフレ展開

**（両極端を思考する）** 6 つ目は「二極思考アプローチ」である（図 2 1）。これは思考範囲を広げて制約条件を排除し現状を打破するために、より高い視点とより広い視野の思考力を養うための考え方である。狭い範囲で考えているとなかなかよい答えが見つからないので、両極端を考えることを推奨している。これには、現実と理想、帰納と演繹、手段と目的、ミクロとマクロ、基礎と応用、具象と抽象、分析的アプローチと設計的アプローチ、ボトムアップとトップダウンなどがある。これは、思考範囲を広げて、制約状況を排除して、現状を出すためにより高い視点とより広い視野を持つという考え方である。この両極端の言葉をもって、それを全体的に見ていく。これの極意は両方の視点を持つということ、そしてそれを言ったり来たりする、そして間を埋めていくということが大切である。

**（目的と手段の連鎖の活用）** 二極思考アプローチの目的と手段について説明する。ロボットによる自動化する目的を考えると生産原価低減のためとなり、生産原価低減の目的を考えると利益部門の追求となる。さらに目的を考えると会社利益や社会貢献となり、最後はみんな幸せとなる。この一番下に戻って、ロボットによる自動化の目的を考えると生産原価低減であるが、手段として他の方法を考えると、情報システムや IE による改善も考えられる。ロボットによる自動化を目的にしないで、あくまで手段として考えた方がよい。1 つ上あるいは 2 つ上の目的を考えて、他に方法・手段はないかと考える。これは下位の手段は上位の目的や上位に対して手段になるし、こちらは下位に対して目的となり、手段と目的は階層性がある。二極思考アプローチのエッセンスは、高い視野でとらえると手段は色々考えられる、目的は何なのかと目的的に考えることである。また、人材育成はより上位に位置付けたいと考えている。

改善における目的と手段の連鎖があり、ロボフレに関しても目的を明確にして、ターゲットを選定するのはとても大切である。

**（トップダウンとボトムアップの役割分担）** 改善活動におけるボトムアップとトップダウンが言われるが、著者はそれに形容詞をつけて、現場は「燃えるボトムアップ」、マネジメントは「見えざるトップダウン」、スタッフは「影なるサポート」としている。これらが個々にその役割を果たしながら三位一体になって全体が有機的に連携することになる。直接的に価値を生む現場には、健全なる危機感をもって、改善に関する問題の所有者として実行し、そのためには改善の基礎体力を身につけることが必

要である。その極意および行動原則としては、何でもよいから変化し続ける、みんなで考える、やっつけから考える、みんなで、楽しく、明るく、やっつけすることである。経営課題に対処するマネジメントは、明確な価値観に基づく方針を示し、時間と空間を大きくとって課題および問題を設定することが必要である。その極意および行動原則としては、現場に余裕を与え、誉め、辛抱して、予算を与えることが大切である。改善を支援するスタッフには、改善の主役である現場を盛り立てるために黒衣に徹して、IE に関する専門知識の習得や改善手法の開発が必要となる。その極意および行動原則としては、品質を重視したら作業性も向上すると信じる、改善のプロセスが大切であり、結果は必ずついてくると信じることである。

改善活動の行動原則と各役割があり、ロボフレについても全く同じである。改善活動の燃えるボトムアップがあると、ロボフレでも大きく展開していくし、そうなるとおもしろい。

#### 7-11 改善マネジメントのモットー“働学遊美”とロボフレ展開

**(働学遊美)** 最後に、改善活動あるいは問題解決の成果を向上させるためのモットーを川瀬武志先生が「働学遊美」で表現している。まず働くということは直接的な価値を生む。それだけではつまらないのでいろいろ学びましょう。もちろん、失敗学という学問もあるように失敗から学ぶこともあるでしょう。そして同じようにやるならば、遊び心を持ってやりましょう。最後は、美というのは感動するので、美意識を持って仕事にあたりましょう、美しいかどうかで判断しましょう。働学遊美をミックスして新しいことにチャレンジしていきましょう、ということ提唱している。

働学遊美に感動の側面が入っていると、ロボフレでも大きく展開することが期待できる。

#### 7-12 改善マネジメントによる人材育成

改善マネジメントにとって、人材育成は重要である。ロボフレでも人材育成を真剣に考えるべきである。やっぱり日本は改善の集積といわれてモノづくりでも世界に確固たるものになったので、今度はロボットを使ってモノづくりを確固たるものに再構築していくためには改善マネジメントによる人材育成が非常に大切な事項であると考えている。

### 8. 結論

**(概要)** 本稿では、ロボットに優しい、ひいては、さまざまなシステムにロボット導入を容易にするロボットフレンドリー（ロボフレと本稿では呼称した）コンセプトのよりどころ、基礎・基盤としての

Industrial Engineering (IE と略記) の理論、考え方や手法を具体例やその将来展開を含めて説明した。

具体的には、ものづくり分野では、製作プロセスにおいて改善を積み上げることが、その価値を付加したり高めたりする。生産性向上にも資する。改善活動は、“人・もの・お金・情報を含むシステムにおける仕事の生産性を向上させる活動であり、ものづくりにおいて改善は、製品の品質、価格、納期を保証するために必須である。

そこで本稿では、まず手作業によるものづくり作業の改善の具体例を紹介するとともに、その説明にIE の考え方や、手法を援用すれば、この効果（ものづくり改善効果）や、よりどころが理解しやすくなることを述べた。逆に、IE の考え方や手法によれば、ものづくり改善効果を効果的に可能にできることを述べた。モノづくり改善のベースにIE が存在する。

その一方で、ロボフレは、ロボットに優しい、ひいてはロボットシステムにおけるロボット導入を容易にする環境や、ロボットや、人間関連の技術要素を統合することで実現可能となる（これを本稿では、ロボフレ改善効果と命名した）。ロボットシステムづくりは、ものづくりのサブセットであり、ロボフレシステムづくり（ロボフレシステムづくりと略記）は、ロボットシステムづくりのサブセットなので、次式

ものづくりコロロボットシステムづくり

コロロボフレづくり

が成立する。そしてそれぞれの改善に関しても

ものづくり改善コロロボットシステムづくり改善

コロロボフレづくり改善

が成立する。さらに前述したように、モノづくり改善のベースにIE が存在するのであるから、上記の包含関係から、ロボフレ改善のベースとしてIE が存在することになる。逆にいうと、IE を利用すれば、ロボフレ改善効果もたらされる。本稿では、さまざまなIE 手法とそれによってもたらされるロボフレ効果を、具体例を提示しながら説明した。

さらに本稿では、最後の部分で、IE の応用事例として、S1er のための“ロボットシステム構築支援システム”における構築プロセスをサポートする際に、IE の手法が援用できることを紹介するとともに、IE の考え方の本質的な部分である、改善マネジメントなどが、ロボフレを今後展開するうえで、示唆を与えることを示した。

#### (各章ごとのまとめ)

本稿で明らかにした知見を、章ごとにまとめると次のようになる。

【第2章：ものづくりとIE の関係 ～ものづくり改善事例とそのIE による説明～】では、ランダムに段

ボール箱につめこまれた複数のプラスチック容器の上下をそろえて一列に整列させる作業と、錠剤を瓶詰する作業の改善事例を紹介し、その改善の内容やよりどころを、IEの手法である“ものこと分析”や、“ステップワイズ・マイクロオートメーション（ステップを踏んだ改善のすすめ）”を用いて説明すれば、理解しやすいこと、さらにその意義も深く把握できることを説明した。特に、前者の手作業の単なるロボット化では、少なく見積もっても1,000万円以上かかる自動化が、改善工夫をかさねた機構による自動化では、20万円程度ですんだ効果にも言及した。

【第3章：ものづくりにおけるIE～ものづくり改善理論としてのIE～】では、改善とその集積の明示的な方法論としてのIEの考え方やIE手法を紹介した。具体的には、カメラ分解工程の事例と現像機製造工程の改善事例を紹介し、第2章で述べた“ものこと分析”や、“ステップワイズ・マイクロオートメーション（ステップを踏んだ改善のすすめ）”に加えて、工程分析、マン・マシン分析、ラインバランシング、独自の治具開発などの手法が有効に援用できることを示した。それに関連する大学での研究教育活動についても“IEをベースにした改善研究と人材育成”として言及した。

【第4章：ロボフレとIEの関係～ロボフレ改善のIEによる実現～】では、ロボフレの考え方を紹介し、その考えにたってロボットシステムを分析する“ロボフレ分析”を説明した。また、ロボフレ分析のひな形テンプレートを説明し、ロボフレ分析において抽出されるキーワードは、改善やロボフレを実現する上で重要な要素であり、それらが体系的に整理されることで、欠けが発見されたり、より本質的なキーワードに行きついたりする効果のあることを指摘した。さらに、この分析をすすめている委員会としてのロボフレ委員会についても触れた。

ロボットフレンドリーなシステム（ロボフレシステム）の構築は、ロボットシステム改善の集積体として実現される。そして、ロボフレシステムの構築は、ものづくりのサブセットであること、ものづくり改善効果のサブセットが、ロボフレ改善効果に相当することを鑑みると、ロボフレ改善の基礎・基盤をIEが提供することを結論づけた。その上でさらに、この章では、ロボフレシステムを構築する理論、基礎・基盤、手法としてのIEを詳しく説明した。

【第5章：ロボフレシステムづくりにおけるIE～ロボフレ改善理論としてのIE～】では、具体的なIEの手法が、どのような改善を可能とするのか、ひいては、それがどのようにロボフレ改善につながっていくのかを記述した。具体的には、IE手法をロボフレツリーの環境、ロボット、人間の軸にかかわるキ

ーワードに関連づけて一覧表として示すことで、どのようなIE手法がどのようなロボフレ改善効果をもたらすかを示した。さらにIEの情報マインドが可能とする改善効果にもふれた。また、ロボフレ改善効果を、a)分析的・設計的アプローチ、b)付加価値設備設計の考え方、c)ステップワイズオートメーション、d)ステップを踏んだ改善、e)うまい問題解決、の手法ごとに記載した。

また、本稿の終盤の2つの章では、IEの活用側面を説明した。具体的には次の通りである。

【第6章：ロボットシステムインテグレーションへのIE援用】では、まず、SIerの役割とその人材を育成するために相模原で実施されているSIer養成講座を説明した。これは、改善の集積体としての実現されるきめこまかなロボットシステムの構築を、IE手法に基づいて支援するもので、そこにおいて、援用されているIE手法について触れた。

【第7章：IEに基づく改善から学ぶロボフレの展開】では、IEのコアをなす改善マネジメントの極意を紹介し、それによるロボフレの展開を述べた。具体的には、改善の具体的事例を、精密板金加工分野と医療機器製造分野で追加説明したのち、以下の改善マインド関連の考え方から学べることと、そのロボフレ単会について述べた。a)改善とロボフレのステップアップ、b)改善とロボフレのすすめ、c)改善マネジメントの極意1“品質第一”とロボフレ展開、d)改善マネジメントの極意2“標準化”とロボフレ展開、e)改善マネジメントの極意3“革新採用過程モデル”とロボフレ展開、f)管理マネジメントの極意4“最高の成果”とロボフレ展開、g)改善マネジメントの極意5“うまい問題解決”とロボフレ展開、h)改善マネジメントの極意6“二極思考アプローチ”とロボフレ展開、i)改善マネジメントのモットー“働学遊美”とロボフレ展開、j)改善マネジメントによる人材育成、k)改善のステップアップの様子、がそれに相当する。

本稿で述べた事項のさらなる深化が近い将来の課題であり、その成果に基づいて、きめこまかなロボットシステム構築法を世界に輸出することが、遠い将来の課題である。

#### 参考文献：

- [1] 藤田彰久「IEの基礎」, 建帛社(1995年)
- [2] 川瀬武志「IE問題の基礎」, 日刊工業新聞社(2007年)
- [3] 中村善太郎「もの・こと分析で成功するシンプルな仕事の構想法」, 日刊工業新聞社(2003年)
- [4] 松本俊之, 阿部智也, 早坂弘達, 江利川秋浩, 関淳, 亀山幸次『IE改善手法としての「ものことオートメーション」の考案と実施』「日本設備

- 管理学会誌」日本設備管理学会, Vol. 22, No. 3, pp. 102-108 (2010 年)
- [5] 松本俊之『青山学院大学 IE 研究室』, 「経営システム」日本経営工学会, Vol. 29, No. 2, pp. 150-154 (2020 年)
- [6] 河野宏和 他「現場力を鍛える」, 日本 IE 協会, (2014 年)
- [7] 松本俊之『IE 改善マインドによる人財育成～全従業員による感動的で活気ある改善現場～』「IE レビュー」日本 IE 協会, Vol. 63, No. 3, pp. 6-12 (2022 年)
- [8] 山田啓之, 久保誠, 栗林溪, 松本俊之『改善活動におけるステップアップのためのチャレンジ』「IE レビュー」日本 IE 協会, Vol. 52, No. 3, pp. 32-39 (2011 年)
- [9] 松本俊之『目指せ改善のイーハトーブ』「IE レビュー」日本 IE 協会, Vol. 43, No. 4, pp. 170-174 (2002 年)
- [10] 松本俊之『現場に気づきを与える「改善のすすめ」』「IE レビュー」日本 IE 協会, Vol. 56, No. 2, pp. 33-39 (2015 年)
- [11] 松本俊之『改善マネジメントと人財教育で目指せ改善の理想郷』「IE レビュー」日本 IE 協会, Vol. 58, No. 2, pp. 49-54 (2017 年)

## 付録：目次

ロボフレの基礎・基盤としての IE(Industrial Engineering)

1. はじめに
2. ものづくりと IE の関係 ～ものづくり改善事例とその IE による説明～
  - 2-1 容器供給作業の自動化改善事例とその IE による説明  
(概要) (ものこと分析) (検討の初期段階) (ものこと分析の段階) (ものこと分析による改善の実施段階) (ステップワイズマイクロオートメーションとしての説明)
  - 2-2 薬の瓶詰作業の改善事例とその IE による説明  
(作業概要) (道具の工夫による改善) (設備の工夫による改善) (工程変更による改善) (自動化改善) (IE 手法による説明)
3. ものづくりにおける IE ～ものづくり改善理論としての IE～
  - 3-1 IE と改善そして改善マインド  
(IE とは?) (IE における改善マインドとは?)
  - 3-2 IE 手法を適用した工程改善事例  
(カメラ分解工程の事例) (現像機製造工程の事例)
  - 3-3 IE に関連する研究教育  
(改善技術の研究) (農業分野への IE 適用)

- (人材育成ツールの研究開発) (IE に関する講義・演習)
4. ロボフレと IE の関係 ～ロボフレ改善の IE による実現～
    - 4-1 ロボフレとロボフレ委員会  
(経産省のロボフレ) (ロボフレ委員会)
    - 4-2 ロボフレツリーとロボフレツリー雛形テンプレート  
(ロボフレツリー) (ロボフレツリーひな形テンプレート)
    - 4-3 ロボフレシステムづくりと改善 ～ロボフレ改善～  
(ものづくりとロボットシステムおよびロボフレシステムづくり) (ものづくり改善とロボットシステム改善およびロボフレ改善) (ロボフレの 3 軸と改善マインドの類似性) (ロボフレの 3 軸と改善マインドの類似関係) (ロボフレ改善理論としての IE) (ロボフレ改善理論を IE に求める効果) (改善のサブセットとロボフレ改善の等価性そのさらなる効果) (さらなる効果)
    - 4-4 ロボフレ改善と IE 手法 ～ロボフレキーワードと IE 手法～  
(ロボフレキーワード) (ロボフレキーワードと自動化) (ロボフレキーワードと改善手法) (ロボフレ改善理論としての IE)
  5. ロボフレシステムづくりにおける IE ～ロボフレ改善理論としての IE～
    - 5-1 ロボフレ改善に利用できる IE
      - 5-1-1 ロボフレ改善への IE 支援一覧
      - 5-1-2 ロボフレへの情報マインドによる支援
    - 5-2 IE により可能となるロボフレ改善
      - 5-2-1 分析的・設計的アプローチによる支援
      - 5-2-2 付加価値設備設計の考え方による支援
      - 5-2-3 ステップワイズオートメーションの考え方による支援
      - 5-2-4 ステップを踏んだ改善による支援
      - 5-2-5 うまい問題解決による支援
  6. ロボットシステムインテグレーションへの IE 援用
    - 6-1 SIer の役割と SIer 養成講座
    - 6-2 SI 支援システムへの IE 援用
  7. IE に基づく改善から学ぶロボフレの展開
    - 7-1 精密板金加工における事例
    - 7-2 医療機器製造の事例
    - 7-3 改善とロボフレのステップアップ
    - 7-4 改善とロボフレのすすめ
    - 7-5 改善マネジメントの極意 1 “品質第一”とロボフレ展開
    - 7-6 改善マネジメントの極意 2 “標準化”とロボフレ展開

- 7-7 改善マネジメントの極意3 “革新採用過程モデル” とロボフレ展開
- 7-8 管理マネジメントの極意4 “最高の成果” とロボフレ展開
- 7-9 改善マネジメントの極意5 “うまい問題解決” とロボフレ展開
- 7-10 改善マネジメントの極意6 “二極思考アプローチ” とロボフレ展開
- 7-11 改善マネジメントのモットー “働学遊美” とロボフレ展開
- 7-12 改善マネジメントによる人材育成
- 8. 結論

